

4. Галкин В. И. Исследование вероятностных моделей для прогнозирования эффективности технологии пропантного гидравлического разрыва пласта / В. А. Галкин, А. Н. Колтырин // Записки Горного института – 2020 – т.246 – с.650-659 - DOI: 10.31897/PMI.2020.6.7
5. Кудряшова Д.А. Использование вероятностно-статистических методов для определения источников обводнения скважин-кандидатов для водоизоляционных работ (на примере Визейского объекта месторождения Пермского края) // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2018. – Т.17, – №1. – С. 26 – 36
6. Лапытов А. Р. Совершенствование методики выбора скважин для проведения водоизоляционных работ / А. Р. Латыпов, А. Н. Куликов, А. В. Корнилов, В. И. Никишов, В. А. Стрижнев // Нефтегазовое дело: Разработка нефтегазовых месторождений – 2009 – Т.7, № 2 – С.46-50
7. Милич И. Применение силикатных полимерных составов для внутрипластовой водоизоляции / Йована Милич, И.Р. Раупов // Булатовские чтения: материалы II Международной научно-практической конференции (31 марта 2018 г.) в 7 т.: сборник статей 2018 – Краснодар: Издательский Дом – Юг, 2018 – Т. 2, – С. 30 – 32
8. Стрижнев К.В. Ремонтно-изоляционные работы в скважинах: Теория и практика / К.В. Стрижнев. – СПб: Недра, 2010. – 560 с.
9. Якубов Р. Н. Методические аспекты повышения эффективности ремонтно-изоляционных работ / Р.Н. Якубов, В.А. Стрижнев, Л. Е. Ленченкова, А. Г. Телин // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов: Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений – 2020 – Т.4 – №126 – С. 50 – 59.

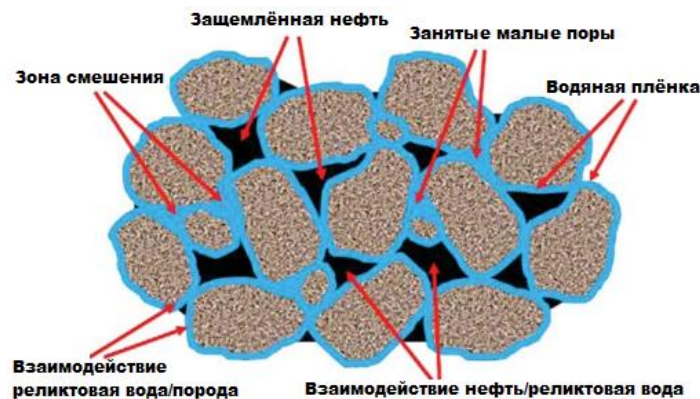
### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ КАРБОНАТНОГО КОЛЛЕКТОРА ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ЗАВОДНЕНИЯ Митрохин Н.С.

Научный руководитель - профессор О.С. Чернова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Заводнение является традиционным и наиболее успешным методом поддержания пластового давления и извлечения нефти из продуктивных пластов. Вместе с этим подходы к оптимизации процесса заводнения продолжают развиваться. Так, частным случаем является изменение минерализации воды в процессе закачки. В данном варианте заводнения продуктивных пластов может наблюдаться изменение равновесия системы пласт/нефть/вода, что в свою очередь может приводить к увеличению нефтеотдачи.

Стоит отметить, что заводнение, в качестве метода увеличения нефтеотдачи, в равной степени применялось и применяется как для терригенных, так и для карбонатных коллекторов. Однако процесс вытеснения нефти водой из гидрофобного (карбонатного) коллектора характеризуется худшими показателями, чем этот же процесс при равных условиях в гидрофильных коллекторах, так как увеличение гидрофибизации приводит к увеличению остаточной нефтенасыщенности. Также важным фактором является то, что во время процесса вытеснения, взаимодействие между закачиваемой водой, карбонатной породой и флюидом становится довольно сложным из-за множества физико-химических реакций и реагирующих компонентов – порода/вода, нефть/реликтовая вода, реликтовая вода/порода [3] (Рис. 1).



**Рис. 1 Распределение взаимодействующих сред в карбонатном коллекторе [3]**

Наряду с вышесказанным, месторождения, приуроченные к карбонатным коллекторам, обладают высоким уровнем значимости для мировой нефтегазовой промышленности. Содержание карбонатов от общего числа осадочных пород варьируется от 18 до 20%. В рамках данной работы объектами исследования являются месторождения, приуроченные к югу Волго-Уральской нефтегазовой провинции. К разрезам осадочных чехлов рассматриваемых регионов относится значительное число промышленных залежей нефти и газа, приходящихся как на терригенные, так и на карбонатные пласты-коллекторы. Однако в карбонатных отложениях исследуемых месторождений сосредоточена большая часть от текущих извлекаемых запасов (ТИЗ) категории АВ1+В2 (Рис. 2), при этом разработка данного типа коллекторов характеризуется недостижением проектного КИН в большей степени, чем в терригенных отложениях.

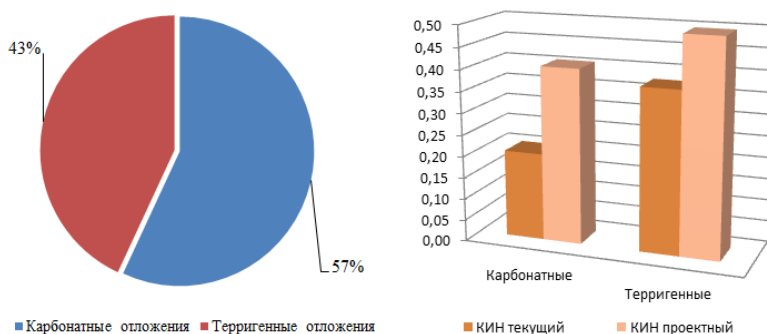


Рис. 2 Распределение текущих извлекаемых запасов и сопоставление КИН по терригенным и карбонатным коллекторам рассматриваемых месторождений

Таким образом, понимание эффектов взаимодействия между компонентами состава закачиваемой воды и элементами поверхности карбонатной породы при заводнении является актуальной задачей в изучении возможностей повышения нефтеотдачи карбонатных коллекторов.

Для карбонатных коллекторов основным процессом при слабоминерализованном заводнении является ионный обмен и изменение смачиваемости. Основными минералами, представляющими карбонатный пласт, являются кальцит и доломит. Как результат, карбонатная порода, из-за присутствия данных ионов ( $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ ), несёт положительный заряд на своей поверхности. В тоже время, заряд карбоксилатных групп, представляющих собой нефтяную фазу, является отрицательным. Связь между отрицательно заряженными карбоксилатными группами и положительно заряженными участками карбонатной поверхности очень сильна [4].

При заводнении слабоминерализованной водой происходит адсорбция ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  на поверхности карбонатной породы, что снижает её положительный заряд. Это позволяет сделать предположение, что ионы  $\text{Ca}^{2+}$  в составе закачиваемой воды смогут адсорбироваться на поверхности породы, способствуя изменению электростатического взаимодействия между породой и остаточной нефтью. Вместе с этим  $\text{Mg}^{2+}$  способен вытеснять  $\text{Ca}^{2+}$ , таким образом можно говорить о замещении и в условиях взаимодействия с породой, что, в таком случае, приведет к высвобождению карбоксильных групп с поверхности карбонатной породы, и, как следствие, увеличению нефтеотдачи [1,2] (Рис. 3).

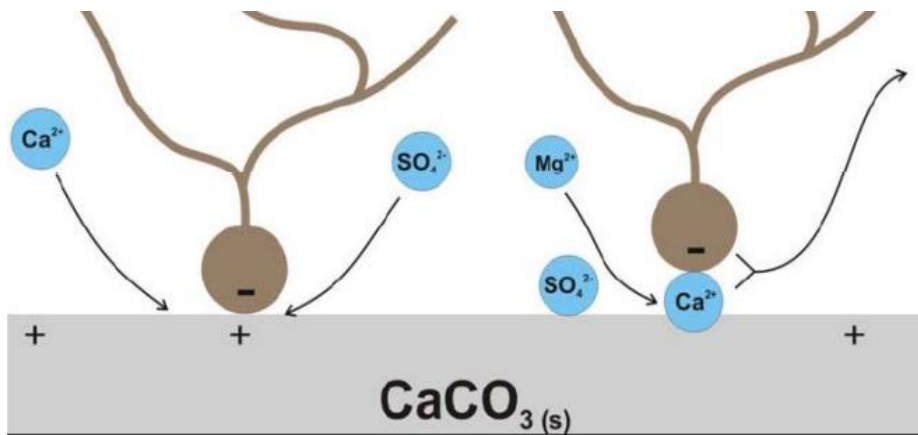


Рис. 3 Схема предполагаемого процесса высвобождения карбоксильных групп нефти при заводнении слабоминерализованной водой карбонатной породы [5]

Мировой опыт применения слабоминерализованного заводнения показал свою эффективность на ряде карбонатных месторождений, что позволяет говорить об актуальности исследования влияния минерализации и ионного состава закачиваемой воды на карбонатных коллекторах южной части Волго-Уральской нефтегазовой провинции.

#### Литература

1. Ахметгареев, В.В. Анализ эффективности и оптимизация параметров заводнения при разработке карбонатных коллекторов месторождений Татарстана /В.В. Ахметгареев, А.И. Бакиров // Нефтяное хозяйство. – 2013. – № 7. – С. 28 – 29.
2. Ахметгареев, В.В. Результаты лабораторного моделирования закачки низкоминерализованной воды в песчаники и известняки некоторых месторождений Татарстана / В.В. Ахметгареев // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 90 – 93.
3. Aksulu, H. Effect of Core Cleaning Solvents on Wettability Restoration and Oil Recovery by Spontaneous Imbibition in Surface Reactive, Low Permeable Limestone Reservoir Cores. – University of Stavanger, MSc June 2010.

4. Yi Z., Sarma H.K. Improving Waterflood Recovery Efficiency in Carbonate Reservoirs through Salinity Variations and Ionic Exchanges: A Promising Low-Cost «Smart-Waterflood» Approach. – SPE161631-MS, 2012.
5. Zhang P., Tweheyo, M.T., and Austad T. Wettability Alteration and Improved Oil Recovery by Spontaneous Imbibition of Seawater Into Chalk: Impact of the Potential Determining Ions  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$ . – Colloids and Surfaces A: Physicochem. & Eng, 2007, pp. 199 – 208.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОГО СОДЕРЖАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИМЕСЕЙ В СКВАЖИННОЙ ПРОДУКЦИИ

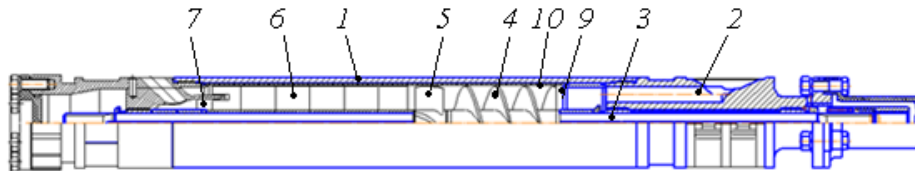
Мусинский А.Н., Туркина Ю.Н.

Научный руководитель - доцент Д.И. Шишлянников

**Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Россия**

При добыче нефти с использованием установок электроцентробежных насосов (УЭЦН) из скважин, характеризующихся высоким содержанием газа в пластовой жидкости, широко применяются центробежные газосепараторы. Данные устройства осуществляют сепарацию свободного газа из перекачиваемого флюида и отвод газа в затрубное пространство скважины [1, 2].

Типовая конструкция газосепаратора центробежного типа включает в себя корпус 1 с узлом ввода 2, внутри которого располагается приводной вал 3 с установленными напорными ступенями 4 (одной или несколькими), кавернообразующее колесо 5 и сепарационные барабаны 6. Газ и жидкость в таких газосепараторах разделяются под действием центробежных сил, при этом жидкость подаётся через торцевое распределительное устройство 7 на приём центробежного насоса, а свободный газ с частью флюида удаляется в затрубное пространство [1].

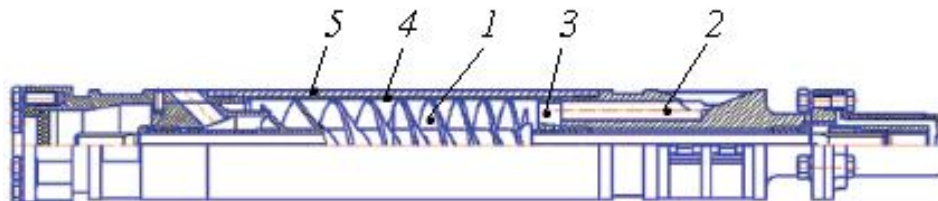


**Рис. 1 Газосепаратор центробежный (типовая конструкция)**

Общим недостатком сепараторов описанных конструкций является неудовлетворительная надежность в условиях, когда в перекачиваемой скважинной продукции помимо растворенного газа присутствуют частицы механических примесей (кварцевый песок, продукты коррозии и т.п.). При переходе от узла ввода с проточными каналами в виде отверстий круглого сечения, расположенных по одной окружности, к кольцевой полости 9 перед лопастями ротора напорной ступени образуется зона расширения потока. Замедление скорости течения в этой зоне наряду с образованием статического вихря, особенно на подачах, значительно меньших номинальной, приводит к локальному накоплению абразивных частиц и износу корпуса.

Традиционно, проблему перерезания корпусов центробежных газосепараторов (УЭЦН) пытались решать посредством установки внутрь корпуса защитных гильз из легированных сталей высокой твердости, а также из твердосплавных материалов (см. поз. 10, рис. 1). Указанное существенно удорожало конструкцию газосепараторов, при этом положительный эффект по увеличению наработки устройств и предотвращению аварийных отказов достигался не всегда.

Сотрудниками АО «Новомет-Пермь» разработан ряд технических решений и разработаны перспективные конструкции абразивостойких газосепараторов центробежного типа (рис. 2).



**Рис. 2 Абразивостойкий центробежный газосепаратор производства АО «Новомет-Пермь»**

В центробежных газосепараторах традиционных конструкций на входе в шнек создается вихревое течение жидкости, которое захватывает абразивные частицы, что обуславливает концентрацию частиц механических примесей в области образования вихря. В газосепараторах АО «Новомет-Пермь» применяются шнеки 1, согласованные по потоку с узлом ввода 2. Перед сепарационным шнеком устанавливается входная решетка 3, представляющая собой неподвижный направляющий аппарат в виде втулки с закрепленными на ней лопастями. Проходное сечение входной решетки на выходе потока заужено, а его площадь не превышает общую площадь поперечного сечения всех отверстий узла ввода 2. Сепарационный шнек 1 выполнен геликоидальным. Таким образом, абразивные частицы, содержащиеся в перекачиваемом флюиде, при работе газосепаратора прижимаются к лопастям